


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И. В. Коваленко

Подпись

« 4 » июня 2018 г

АВТОРЕФЕРАТ

магистерской диссертации

Модель надежности солнечно-дизельной электростанции

тема

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

код и наименование направления

13.04.02.02 – Электроэнергетические системы, сети, линии электропередачи, их
режимы, устойчивость и надежность

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель



подпись, дата

1.06.18

доц., канд. техн. наук

должность, ученая степень

В. А. Тремясов

инициалы, фамилия

Выпускник



подпись, дата

А. В. Богданов

инициалы, фамилия

Красноярск 2018

ОБЩАЯ ХАРАКТИРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В России имеется множество автономных потребителей, для электроснабжения которых используются главным образом дизельные электростанции (ДЭС). Сейчас в целях экономии топливно-энергетических ресурсов внедряются генерирующие установки, использующие энергию возобновляемых источников, одним из таких источников является солнечное излучение. Особенностью солнечного излучения как источника энергии является стохастический (нерегулярный) характер, не позволяющий использовать солнечные электростанции как единственный источник электроэнергии для автономных потребителей, поэтому находят применение солнечно-дизельные комплексы, в которых дизельный генератор используется при недоступности солнечной радиации.

Одной из основных задач при проектировании и эксплуатации объектов энергетики является обеспечение надежности. Недостаточная надежность приводит к ущербу в результате недоотпуска энергии потребителям и затратам на устранение последствий отказов. В то же время создание установок с высоким уровнем надежности приводит к повышенным затратам на ее обеспечение, что часто является нецелесообразным. В настоящее время для анализа надежности традиционных генерирующих установок разработаны и успешно применяются различные методы. Однако их применение не подходит для анализа солнечно-дизельных станций, так как они не учитывают фактор стохастического характера солнечного излучения. Ведутся исследования по анализу надежности таких установок, но зарекомендовавшей себя в практическом применении методики на данный момент не существует.

Целью исследования является разработка математической модели надежности солнечно-дизельной электростанции.

Объект исследования – автономная солнечно-дизельная электростанция.

Предмет исследования – анализ надежности автономной солнечно-дизельной электростанции.

В диссертационной работе решаются следующие **задачи**:

1. Анализ существующих видов конструкций солнечных и солнечно-дизельных электростанций.
2. Обзор методик, используемых для анализа надежности установок, содержащих преобразователи энергии солнечного излучения в электрическую.
3. Разработка математической модели надежности СДЭС, учитывающей влияние интенсивности солнечной радиации на режимы работы станции.
4. Создание программного обеспечения на основании полученной модели.
5. Разработка вариантов схем СДЭС для конкретного месторасположения установки.
6. Апробация разработанных модели надежности и программного обеспечения для анализа полученных схем.

7. Определение технико-экономических показателей разработанных вариантов СДЭС с учетом ущерба в результате отказов установки, полученного при анализе надежности, выбор по этим показателям оптимального варианта СДЭС для электроснабжения потребителей в заданном населенном пункте.

Научная новизна диссертационной работы:

- разработана модель надежности солнечно-дизельной электростанции на основе мультиматричного метода;
- создано программное обеспечение для анализа надежности автономной СДЭС с использованием установок аккумулированием энергии и дизель-генераторов.

Теоретическая значимость заключается в создании модели надежности СДЭС, позволяющей производить оценку надежности установок с учетом влияния изменения интенсивности солнечного излучения, а также определить влияние полученных надежности на технико-экономические показатели установок. Разработанное программное обеспечение позволяет упростить проведение расчетов.

Практическая ценность заключается в возможности применения результатов исследования для расчетов надежности солнечно-дизельных установок при проектировании и в процессе эксплуатации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из аннотации, содержания, введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего 72 наименования, и семи приложений. Объем диссертации составляет 97 страниц, включая 72 страницы основного текста, содержащего 20 рисунков и 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** рассмотрены преимущества внедрения возобновляемых источников для электроснабжения автономных потребителей, проанализированы основные виды установок, преобразующих солнечную энергию в электрическую, схемы солнечно-дизельных электростанций.

Строительство комплексов, состоящих из гарантированного энергоисточника – ДЭС и нестабильного ВИЭ позволяет решить ряд задач:

- снизить расход дизельного топлива и, как следствие, уменьшить зависимость энергоснабжения удаленных населенных пунктов от привозного дорогостоящего топлива;
- частично заместить выбывающие/реконструируемые мощности;
- в перспективе обеспечить снижение тарифа на электрическую энергию;
- снизить выбросы CO_2 и других вредных веществ.

На территориях, обладающих достаточно высоким потенциалом солнечного излучения наиболее целесообразным вариантом является сооружение солнечно-дизельных электростанций. Как видно из рисунка 1, наибольшим солнечным потенциалом обладают территории юга страны,

особенно южные части Восточной Сибири и Дальнего Востока, а также значительная часть территории Якутии.



Рисунок 1 – Карта интенсивности удельной суточной дозы солнечного излучения на территории России

Существуют два основных способа преобразования солнечной энергии в электрическую: фототермический (косвенный) и фотоэлектрический (прямой).

Анализ показал, что применение фототермических установок на рассредоточенных коллекторах и башенного типа целесообразно только при мощностях (более 10 МВт), превышающих потребности большинства автономных потребителей. Наилучшим является использование для создания СДЭС является использование ФЭП, не имеющих зависимости КПД от мощности установки. Применение комбинированных фототермических систем с ГТУ эффективно при небольших мощностях, но не позволяет создать установки на базе существующих ДЭС.

Возможны разные схемы объединения ДЭС и фотоэлектрических установок (ФЭУ) при работе на общего потребителя, которые можно разделить на 3 основные группы: с подключением генерирующих установок к промежуточной шине переменного тока, с подключением генерирующих установок к промежуточной шине постоянного тока, с подключением через высокочастотную шину переменного тока. Рассматриваются преимущества и недостатки разных типов схем.

Во **второй главе** анализируются методы оценки надежности, примененные для анализа надежности солнечных электростанций, солнечно-дизельных и других комбинированных установок, содержащих в составе СЭС.

Выявлены преимущества и недостатки методов и определена необходимость разработки метода, позволяющего устранить эти недостатки.

Рассмотрены метод анализа видов и последствий отказов (АВПО), метод дерева отказов, метод марковских процессов, метод перечисления состояний, метод Монте-Карло.

АВПО позволяет найти слабые места в системе, но не дает представления о вероятности появления и продолжительности состояний со сниженной выработкой установки. Влияние интенсивности солнечного излучения не учитывается.

Метод дерева отказов позволяет определить либо вероятность полного отказа системы, либо вероятность того, что определенная мощность системы может быть выработана установкой. Влияние солнечного излучения учитывается только в виде его доступности /недоступности, то есть не отражает влияние изменения интенсивности солнечной радиации в периоды ее доступности.

Метод марковских процессов позволяет учитывать изменение интенсивности излучения путем задания состояний с различной интенсивностью солнечной радиации. Главным недостатком этого метода при анализе любых систем является резкое увеличение числа состояний при увеличении количества элементов системы. При введении учета интенсивности радиации в марковскую модель этот недостаток усугубляется и приводит к необходимости упрощения рассматриваемой системы даже при машинном анализе, что приводит к снижению точности анализа надежности.

Метод перечисления состояний позволяет произвести анализ системы с большим количеством ФЭП и подробной моделью солнечной радиации. Однако метод разработан и применен только для установок с однотипными генерирующими элементами, и не пригоден для использования при анализе СДЭС

Метод Монте-Карло наилучшим образом позволяет произвести оценку надежности установок с фотоэлектрическими элементами, поскольку возможен учет изменения интенсивности солнечного излучения и множества других факторов при моделировании, влияющих на выработку системы. Однако требуется большой объем данных по всем параметрам, использующихся при моделировании, которые зачастую недоступны, кроме того их обработка может быть очень трудоемкой. Для применения метода требуется специальное программное обеспечение.

Исходя из выявленных недостатков существующих методов сделан вывод о необходимости создания нового метода без указанных недостатков.

В **третьей главе** разрабатывается метод расчета надежности автономных солнечно-дизельных установок с аккумулированием энергии, учитывающий показатели надежности элементов СДЭС и изменение интенсивности солнечной радиации, а также программное обеспечение в среде MATLAB, реализующее данный метод.

Ожидаемая выработка электроэнергии ФЭП в течение длительности состояния T_p при абсолютно надежной работе установки определяется по выражению, кВт·ч,

$$W_{\text{ФЭП}}^{\text{ож}(T)} = E^{(T)} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot S_{\text{ФЭП}} \cdot n_{\text{ФЭП}} \cdot (T_{pd} - T_{pbs}), \quad (1)$$

где $E^{(T)}$ – усредненное для каждого состояния T_p суточное удельное значение падающей солнечной радиации, кВт·ч/(м²·дн.);

η_1 – КПД фотоэлектрического преобразователя, о.е.;

η_2 – КПД конвертора, о.е.;

η_3 – КПД инвертора, о.е.

$S_{\text{ФЭП}}$ – площадь одного фотоэлектрического преобразователя, м²;

$n_{\text{ФЭП}}$ – количество ФЭП в составе СДУ, шт.;

T_{pd} – количество дней в рассматриваемом состоянии;

T_{pbs} – усредненное количество бессолнечных дней в состоянии T_p .

Выработка энергии дизельными генераторами в каждый период определяется исходя из ожидаемой выработки электроэнергии СДЭС в целом и выработки электроэнергии ФЭП и составит, кВт·ч,

$$W_{\text{ДГ}}^{\text{ож}(T)} = W_{\text{СДЭС}}^{\text{ож}(T)} - W_{\text{ФЭП}}^{\text{ож}(T)}, \quad (2)$$

где $W_{\text{СДЭС}}^{\text{ож}(T)}$ – ожидаемая выработка электроэнергии СДЭС, кВт·ч.

При этом средняя мощность, вырабатываемая ФЭП и, соответственно, среднее снижение мощности, к которому приводит отказ ФЭП, оценивается для каждого состояния T_p по формуле, кВт,

$$\Delta N_{\text{ФЭП}}^{(T)} = \frac{E^{(T)}}{24} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot S_{\text{ФЭП}} \cdot n_{\text{ФЭП}} \cdot \frac{T_{pd} - T_{pbs}}{T_{pd}}. \quad (3)$$

Средняя мощность, выдаваемая банком аккумуляторных батарей мощность и теряемая при их потере, кВт,

$$\Delta N_{\text{АБ}} = N_{\text{АБ}} = \frac{C_{\text{АБ}} \cdot S_p \cdot U_n}{100 \cdot \Delta t_{\text{АБ}}} \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где $C_{\text{АБ}}$ – Расчетная емкость аккумуляторной батареи, А·ч;

S_p – максимальный допустимый разряд аккумулятора, %, обычно принимается равным 70 %;

U_n – номинальное напряжение нагрузки, В;

$\Delta t_{\text{АБ}}$ – время питания нагрузки от аккумуляторных батарей (в ночной период), ч.

Отказы элементов СДЭС в различных режимах работы приводят к авариям разного вида, результатом которых является снижение мощности, которую может выработать станция. Для выявления различных аварий, вызванных отказами элементов установки, нужно их знать положение в системе генерации, чтобы определить к каким последствиям (авариям) приведет отказ этих элементов. Для этого составляется структурная схема СДЭС, пример которой приведен на рисунке 2. Каждому элементу схемы присваивается номер i .

Отдельные элементы СДЭС характеризуются собственными показателями надежности, по которым определяется надежность системы. В предлагаемой методике используются показатели частоты отказов элемента λ и среднее время восстановления τ . Данные показатели для основных элементов СДЭС приведены в таблице 1.

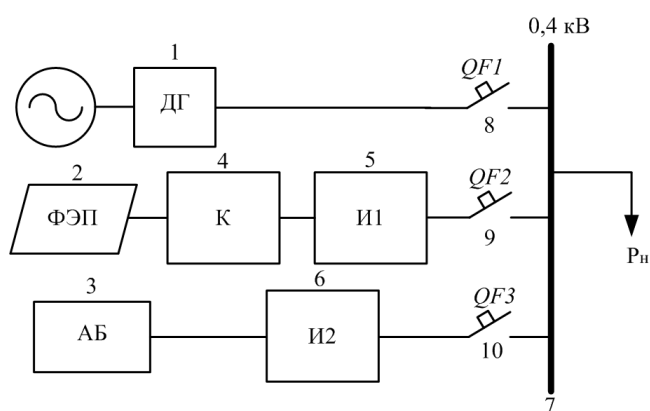


Рисунок 2 – Пример структурной схемы СДЭС:

ДГ – дизельный генератор; ФЭП – фотоэлектрические преобразователи; АБ – банк аккумуляторных батарей; И – инвертор; К – конвертор; QF – выключатель; P_n – нагрузка.

Таблица 1 – Показатели надежности элементов СДЭС

Элемент СДЭС	Частота отказов λ_i , 1/год	Среднее время восстановления τ_i , год
Дизельный генератор	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
ФЭП	$2,28 \cdot 10^{-2}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$
Аккумуляторная батарея	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Инвертор (конфигурация СДЭС с центральным инвертором)	$11,3 \cdot 10^{-2}$	$8,33 \cdot 10^{-2}$
Микроинвертор (конфигурация СДЭС с индивидуальными инверторами)	$18,8 \cdot 10^{-2}$	$8,33 \cdot 10^{-2}$
Конвертор	$7,1 \cdot 10^{-2}$	$12,5 \cdot 10^{-2}$
Шина	$16,6 \cdot 10^{-3}$	$5,71 \cdot 10^{-4}$
Кабельная линия (на 100 м.)	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$
Автоматический выключатель	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$4,57 \cdot 10^{-4}$

Далее выявляются возможные режимы работы установки j . Нормальному режиму работы установки присваивается номер $j=0$, другим режимам номера $j=1, 2, 3 \dots m$. Для каждого состояния T_p составляется матрица логических связей отказов, режимов и аварий аналогично матрице таблично-логического метода оценки надежности традиционных систем генерации (рисунок 3). Под аварией понимается событие, которое приводит к снижению вырабатываемой мощности, все аварии получают свой код $k=1,2,3 \dots n$. По горизонтали указываются различные режимы работы электроустановки j . По вертикали указываются элементы электроустановки i . В ячейках матрицы отмечается код аварии и снижение мощности, к которому приводит отказ элемента в соответствующем режиме работы. Эта мощность равна сумме мощностей источников, которые не могут вырабатывать или выдавать мощность при данной аварии. При анализе возможно разделение аварий на кратковременные (устраняемые или переводимые в менее тяжелую в результате оперативных переключений) и длительные (устраняемые восстановительным ремонтом). В таком случае ячейки делятся на две части, в одной из которых указывается для кратковременной аварии код и соответствующее снижение мощности, в другой – то же для длительной аварии.

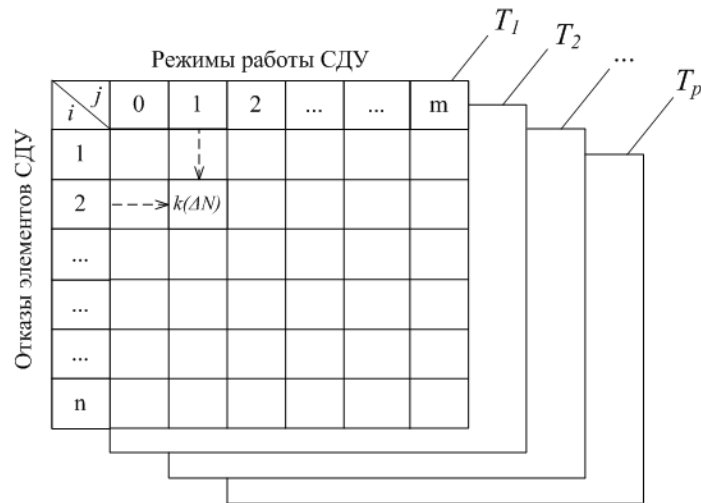


Рисунок 3 – Структура матриц логических связей

Определяется относительная длительность ремонтных режимов по формуле, о.е.,

$$q_j = \lambda_j \tau_j, \quad (5)$$

где λ_j – частота возникновения режима работы j ,

τ_j – средняя продолжительность режима работы j .

Относительная длительность нормального режима равна, о.е.,

$$q_0 = \left(1 - \sum_{j=1}^m \lambda_j \tau_j \right). \quad (6)$$

После составления матриц логических связей отказов, режимов и аварий определяется частота аварий k -го вида, 1/год, которая находится по формуле

$$\Lambda(k_{в.р} / k_{о.п}) = \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j \lambda_{ji} L(j, i, k), \quad (7)$$

где $L(j, i, k) = 1$, если в матрице расчетных связей на пересечении i -й строки и j -го столбца находится авария вида k .

Находится среднее время восстановления нормального режима работы СДУ после аварии k -го вида, год,

$$\tau(k_{в.р}) = \frac{1}{\Lambda(k_{в.р})} \left(\sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n q_j \lambda_{ji} \tau_{ji}(j, i, k) L(j, i, k) \right), \quad (8)$$

где $\tau_{ji}(j, i, k)$ – время восстановления нормального функционирования установки после аварии k -го вида в j -м режиме при отказе i -го элемента.

Среднее значение аварийной недовыработки (недоотпуска) энергии установкой в течение длительности состояния T_p вычисляется по формуле, кВт·ч,

$$\Delta W_{СДЭС}^{(T)} = T_p \cdot \left(\sum_{k=1}^n \Lambda(k_{в.р}) [\tau(k_{в.р}) - \tau(k_{о.п})] \Delta N(k_{в.р}) + \sum_{k=1}^n \Lambda(k_{о.п}) \tau(k_{о.п}) \Delta N(k_{о.п}) \right). \quad (9)$$

где $\tau_{о.п}(j, i, k)$ – время оперативных переключений, приводящих к ликвидации кратковременных аварий.

Если деление аварий на длительные и кратковременные не производится, формула (9) примет вид

$$\Delta W_{СДЭС}^{(T)} = T_p \cdot \sum_{k=1}^n \Lambda(k) \tau(k) \Delta N(k). \quad (9a)$$

Суммарный годовой недоотпуск составит, кВт·ч,

$$\Delta W_{СДЭС}^{год} = \sum_{T=1}^{T_{\max}} \Delta W_{СДЭС}^{(T)}. \quad (10)$$

Фактическая выработка электроэнергии, кВт·ч,

$$W_{СДЭС}^{факт} = W_{СДЭС}^{ож} - \Delta W_{СДЭС}^{год}. \quad (11)$$

На основании полученного значения ожидаемого недоотпуска электроэнергии определяется ущерб, руб.,

$$Y = y_0 \cdot \Delta W_{\text{СДУ}}^{\text{год}}, \quad (12)$$

где y_0 – удельный аварийный ущерб, руб./кВт·ч, зависящий от типа потребителя.

С целью упрощения проведения расчетов параметров надежности на основании предложенной модели было разработано программное обеспечение для оценки надежности солнечно-дизельной электростанции. Операционная система – Windows (XP или более поздняя), среда разработки программы – «MATLAB». На рисунке 4 приведена блок-схема алгоритма программы.

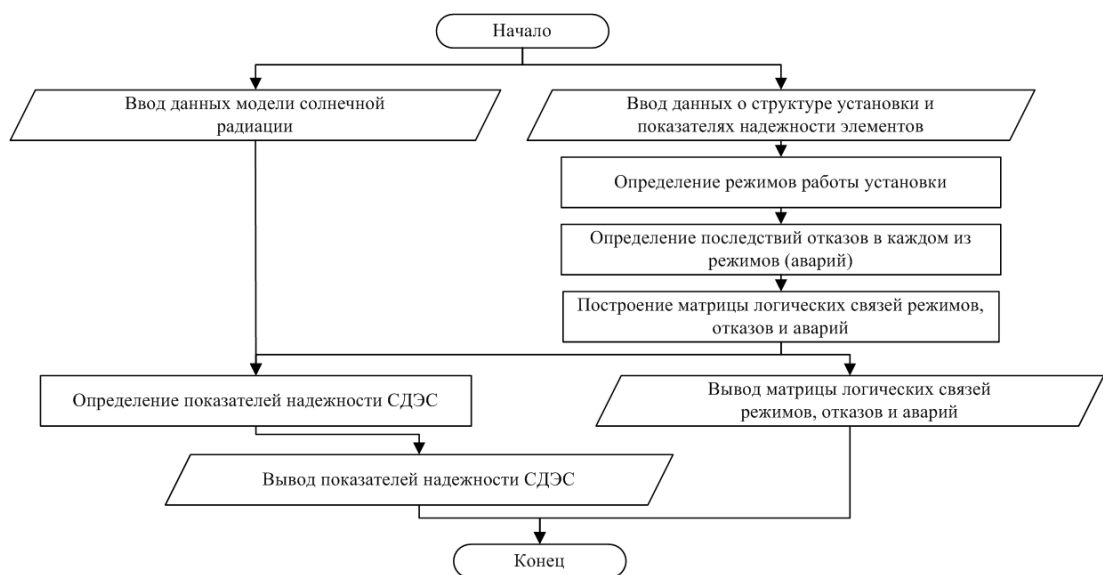


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма программы расчета надежности мультиматричным методом

Пользователем вносятся данные о количестве элементов, мощности источников, для ФЭП мощность определяется для каждого из периодов с различной интенсивностью солнечного излучения, продолжительности периодов, показатели надежности и матрица связности элементов СДЭС, в которой отражаются связи между различными элементами установки.

На основании матрицы связности элементов СДЭС формируется матрица логических связей отказов режимов и аварий, заносимая в память в виде массива. Рассматриваются нормальный режим работы установки и режимы с отказом одного элемента. По полученной матрице логических связей определяются показатели надежности $A(k), \tau(k)$ и потери мощности при аварии $N(k)$, запоминаемые в соответствующих массивах. Для каждого периода определяется недовыработка электроэнергии по величинам $A(k), \tau(k), N(k)$ и продолжительности периодов, заносимая в массив $W(Tp)$. При суммировании элементов $W(Tp)$ определяется недоотпуск электроэнергии за год $W_{\text{год}}$.

В **четвертой главе** производится апробация метода на основании сравнения вариантов схем СДЭС (рисунки 5–7) для электроснабжения деревни Шадрино Красноярского края. По предложенному методу с помощью разработанного программного обеспечения производится оценка надежности схем СДЭС. Определяется ущерб из-за ненадежности, рассчитываются технико-экономические показатели с учетом ущерба и определяется наиболее экономически эффективный вариант установки. Анализ производится на основании данных об интенсивности солнечной радиации, величины потребления электроэнергии д. Шадрино, характеристиках и показателях надежности элементов предлагаемых схем.

Для анализа разработано три варианта схем СДЭС. Установки во всех вариантах обладают одинаковым производственным эффектом, то есть суммарная мощность дизельных генераторов, ФЭП и емкость банка аккумуляторных батарей принимается одинаковой во всех вариантах. Различаются схемы степенью резервирования элементов. Для приведенных схем по характеристикам элементов и показателям их надежности с помощью созданного ПО определены показатели надежности схем и недоотпуск энергии потребителям (рисунки 8–11).

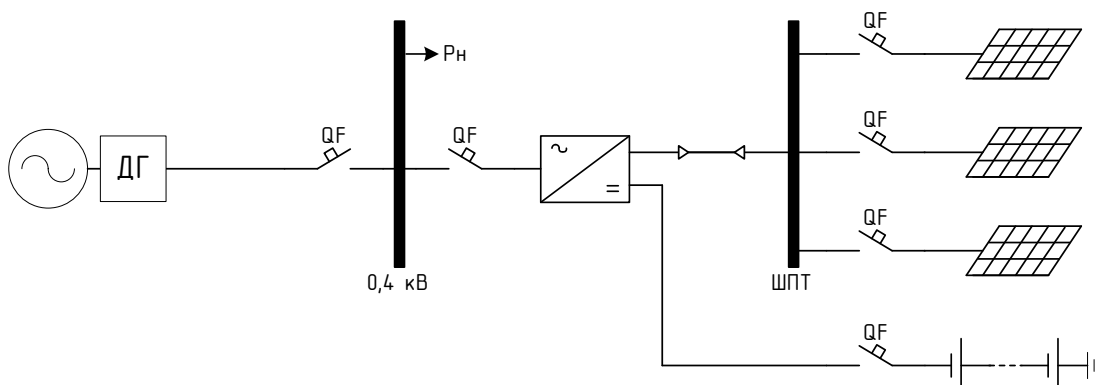


Рисунок 5 – Вариант 1 схемы СДЭС с одним дизельным генератором и общим инвертором

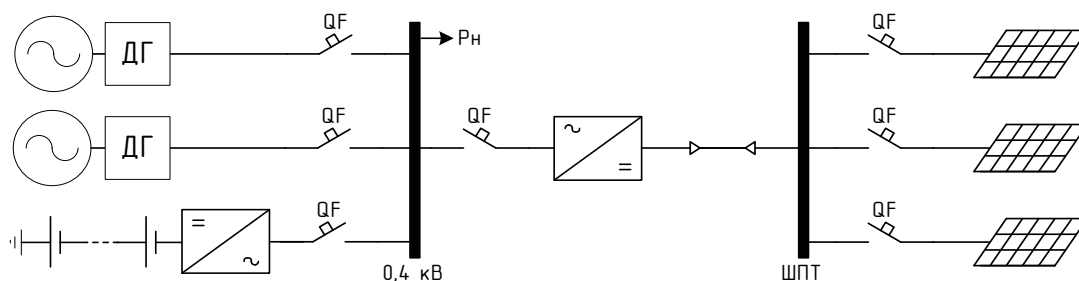


Рисунок 6 – Вариант 2 схемы СДЭС с двумя дизельными генераторами и отдельными инверторами АБ и ФЭП

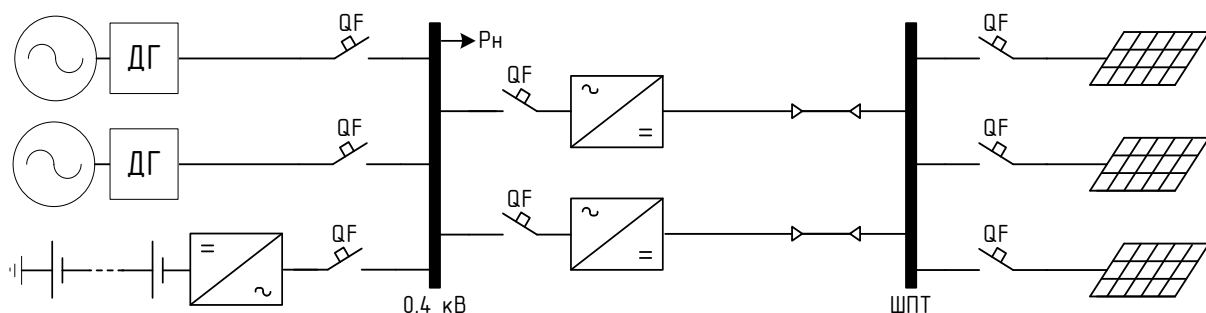


Рисунок 7 – Вариант 3 схемы СДЭС с двумя дизельными генераторам и раздельными инверторами АБ и ФЭП с резервированием инверторов ФЭП

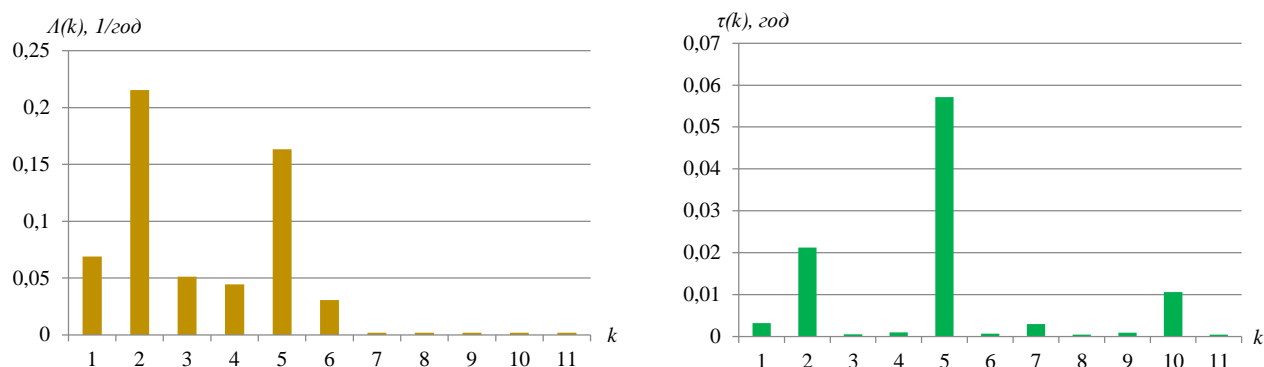


Рисунок 8 – Результаты расчета показателей надежности для варианта №1
Коды аварий (k): 1 – потеря ДГ; 2 – потеря одного блока ФЭП; 3 – потеря АБ; 4 – потеря всех ФЭП; 5 – потеря всех ФЭП и АБ; 6 – полное погашение РУ; 7 – потеря ЛГ и 1 блока ФЭП; 8 – потеря ДГ и АБ; 9 – потеря ДГ и всех ФЭП; 10 – потеря двух блоков ФЭП; 11 – потеря одного блока ФЭП и АБ

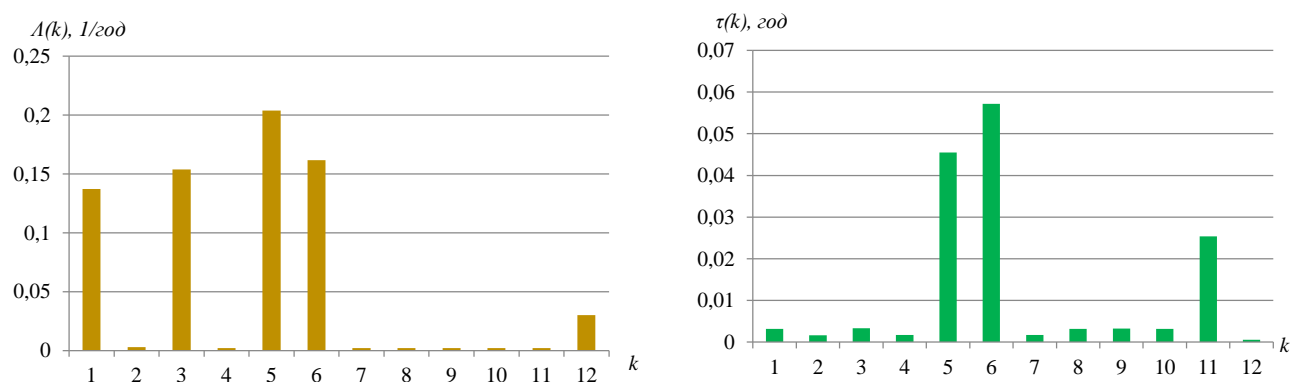


Рисунок 9 – Результаты расчета показателей надежности для варианта №2
Коды аварий (k): 1 – потеря одного ДГ; 2 – потеря двух ДГ; 3 – потеря одного блока ФЭП; 4 – потеря двух блоков ФЭП; 5 – потеря всех ФЭП; 6 – потеря АБ; 7 – потеря одного ДГ и одного блока ФЭП; 8 – потеря одного ДГ и АБ; 9 – одного блока ФЭП и АБ; 10 – потеря одного ДГ и всех ФЭП; 11 – потеря всех ФЭП и АБ; 12 – полное погашение РУ

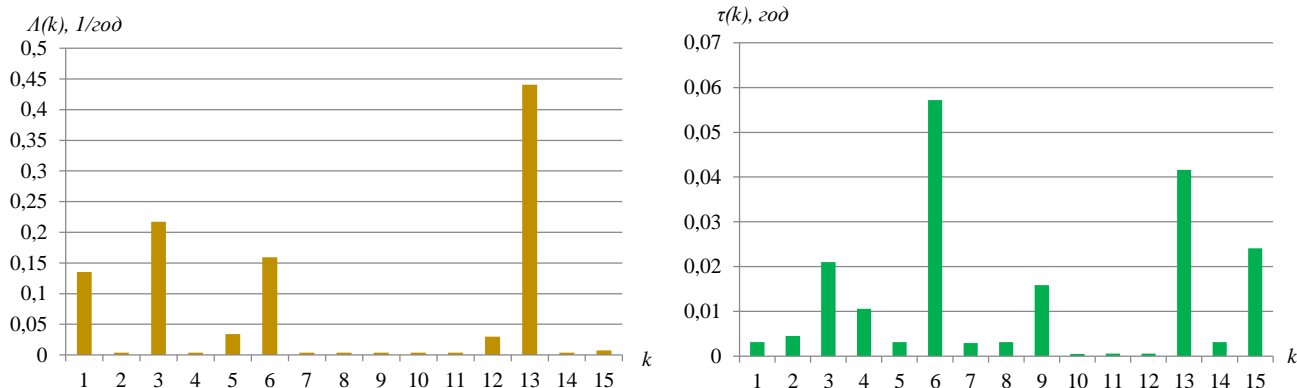


Рисунок 10 – Результаты расчета показателей надежности для варианта №3
 Коды аварий (k): 1 – потеря одного ДГ; 2 – потеря двух ДГ; 3 – потеря одного блока ФЭП; 4 – потеря двух блоков ФЭП; 5 – потеря всех ФЭП; 6 – потеря АБ; 7 – потеря одного ДГ и одного блока ФЭП; 8 – потеря одного ДГ и АБ; 9 – одного блока ФЭП и АБ; 10 – потеря одного ДГ и всех ФЭП; 11 – потеря всех ФЭП и АБ; 12 – полное погашение РУ; 13 – отказ одного из инверторов ФЭП (ограничение выдачи мощности ФЭП); 14 – отказ одного из инверторов ФЭП и потеря ДГ; 15 – отказ одного из инверторов ФЭП и потеря АБ.

По недоотпуску рассчитана величина ущерба (таблица 2).

На основании рассчитанного ущерба от недоотпуска электроэнергии, данных о стоимости оборудования, топлива и отпускного тарифа на электроэнергию определены технико-экономические показатели СДЭС, соответствующие критериям выбора оптимального варианта, с различными вариантами схем. В качестве этих критериев используются следующие цели: минимум приведенных затрат, минимум себестоимости электроэнергии, минимальный срок окупаемости СДЭС. Результаты приведены в таблице 3.

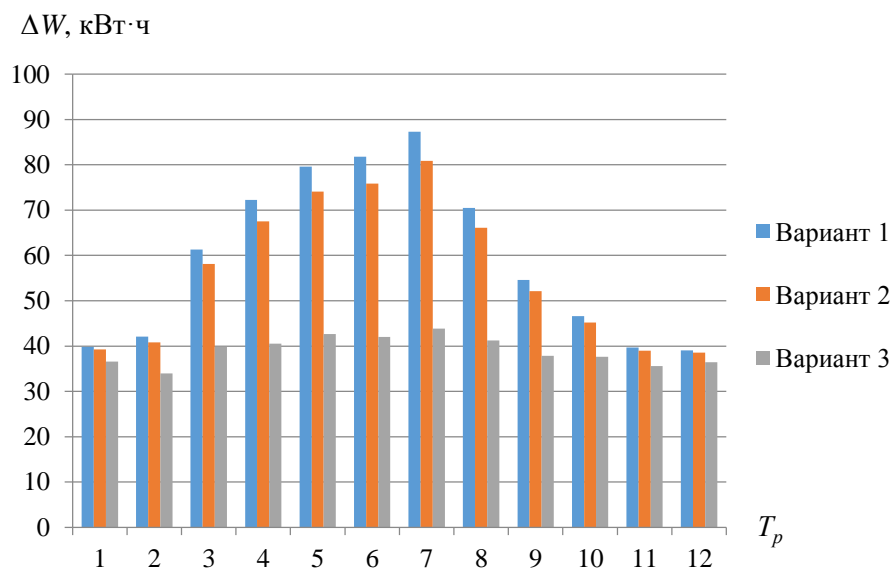


Рисунок 11 – Расчетный недоотпуск энергии потребителям различных вариантов СДЭС

Таблица 2 – Суммарный недоотпуск энергии потребителям и фактическая выработка электроэнергии

Вариант	Показатель надежности		
	Недоотпуск энергии потребителям, кВт·ч	Фактическая выработка энергии СДЭС, кВт·ч	Годовой ущерб от недоотпуска энергии потребителям, руб.
1	714,6	38185	$24,44 \cdot 10^3$
2	677,7	38222	$23,18 \cdot 10^3$
3	468,1	38432	$16,01 \cdot 10^3$

Таблица 3 – Техничко-экономические показатели вариантов СДЭС

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
$C_{осн}$, руб.	$3030 \cdot 10^3$	$3387 \cdot 10^3$	$3518 \cdot 10^3$
$C_{всп}$, руб.	$60,60 \cdot 10^3$	$67,73 \cdot 10^3$	$70,37 \cdot 10^3$
$З_{стр}$, руб.	$60,60 \cdot 10^3$	$67,73 \cdot 10^3$	$70,37 \cdot 10^3$
$З_{д}$, руб.	$454,5 \cdot 10^3$	$508,0 \cdot 10^3$	$527,8 \cdot 10^3$
$З_{проект}$, руб.	$303,0 \cdot 10^3$	$338,7 \cdot 10^3$	$351,8 \cdot 10^3$
$З_{стр}$, руб.	$242,4 \cdot 10^3$	$270,9 \cdot 10^3$	$281,5 \cdot 10^3$
$З_{СМР}$, руб.	$363,6 \cdot 10^3$	$406,4 \cdot 10^3$	$422,2 \cdot 10^3$
K , руб.	$4515 \cdot 10^3$	$5046 \cdot 10^3$	$5243 \cdot 10^3$
I , руб.	$473,3 \cdot 10^3$	$481,3 \cdot 10^3$	$484,3 \cdot 10^3$
$У$, руб.	$24,44 \cdot 10^3$	$23,18 \cdot 10^3$	$16,01 \cdot 10^3$
$З_{пр}$, руб.	$1039 \cdot 10^3$	$1110 \cdot 10^3$	$1129 \cdot 10^3$
$K_{СДЭС}$, руб.	$3734 \cdot 10^3$	$4063 \cdot 10^3$	$4260 \cdot 10^3$
$I_{СДЭС}$, руб.	$56,00 \cdot 10^3$	$60,95 \cdot 10^3$	$63,90 \cdot 10^3$
$C_{СДЭС}$, руб./кВт·ч	21,04	22,90	23,10
$C_{СДЭС}$, руб./кВт·ч	37,43	37,86	37,94
$Э$, руб.	$1604 \cdot 10^3$	$1605 \cdot 10^3$	$1614 \cdot 10^3$
$T_{ок}$ год	4,08	4,58	4,71

Результаты расчета показывают, что наиболее экономичным является сооружение СДЭС со схемой варианта № 1. Данный вариант является наименее надежным, но требует меньших капитальных вложений в строительство, что становится более весомым при небольшом размере недовыработки по сравнению с ожидаемой выработкой СДЭС и низкой величине удельного ущерба для сельскохозяйственных потребителей. Здесь стоит отметить, что ущерб для других групп потребителей, в частности промышленных может быть значительно выше, и результаты будут отличаться от полученных даже при тех же мощностях элементов и схемах установок.

В **заключении** подводятся итоги проведенного исследования, формулируются вытекающие из него основные выводы.

В ходе выполнения работы получены следующие результаты:

1. Рассмотрены основные виды солнечных установок, сделан вывод о целесообразности использования ФЭП в солнечно-дизельных комплексах.

2. Проанализированы различные методы, использованные для анализа надежности солнечных и солнечно-дизельных электростанций. Установлено, что каждый из них имеет определенные недостатки, мешающих их применению в прикладных задачах.

3. Разработан мультиматричный метод расчета надежности СДЭС, включающий модель солнечной радиации, модель выработки электроэнергии ФЭП, модель мощности, выдаваемой банком аккумуляторных батарей и вероятностную модель надежности СДУ.

4. Создана программа оценки надежности СДЭС на основании разработанной методики, позволяющая определять частоту аварий, среднее время восстановления, снижение мощности, и недовыработку электроэнергии в результате аварий.

5. Разработаны варианты СДЭС для д. Шадрино и произведен анализ их надежности. Недоотпуск электроэнергии составил для первого варианта 714,6 кВт·ч, второго – 677,7 кВт·ч, третьего – 468,1 кВт·ч. Это равно 1,84 %, 1,74 % и 1,20 % от ожидаемой выработки соответственно, что свидетельствует высокой надежности установок.

6. Резервирование дизельных генераторов почти не увеличило надежность системы. Резервирование инверторов ФЭП позволило снизить недоотпуск электроэнергии и аварийный ущерб на 34,5 %, но абсолютная величина годового ущерба снизилась только на 8,43 тыс. руб.

7. На основании технико-экономического расчета установлено, что самым экономичным из предложенных является наименее надежный вариант схемы №1. Это обусловлено тем, что увеличение затрат на обеспечение надежности выше, чем снижение ущерба от недоотпуска электроэнергии, о чем свидетельствуют следующие показатели: приведенные затраты у второго варианта на 6,83 % выше чем у первого, а у третьего – на 8,67 %, срок окупаемости выше у второго варианта на 12,2 %, у третьего – на 15,4 %. Себестоимость электроэнергии у вариантов различается незначительно, между первым и вторым вариантом на 1,15%, первым и третьим – на 1,36 %. Это говорит о целесообразности применения простых схем без дополнительных мер по увеличению надежности для СДЭС, питающих сельскохозяйственных потребителей в районах с инсоляцией, характерной для средней полосы России.

8. Для получения более точных оценок надежности необходимо получить и обработать большее количество данных о надежности элементов солнечно-дизельных установок. Возможно применение результатов работы и их адаптация для анализа надежности автономных энергосистем с ВИЭ.

Апробация работы. Основные результаты исследований по данной теме представлены на конференциях:

1. Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный-2017», посвященная посвященной Году экологии в РФ, г. Красноярск.

2. Всероссийская научно-техническая конференция «Борисовские чтения», г. Красноярск.

3. XIV Международная научно-практическая конференция «Инновационные научные исследования: теория, методология, практика», г. Пенза.

Основные положения исследования отражены в публикациях:

1. Богданов А. В. Анализ надежности солнечно-дизельной установки мультиматричным методом. // Проспект свободный 2017: материалы Междунар. науч. конф., посвященной Году экологии в РФ, Красноярск 17-21 апреля 2017 г. [Электронный ресурс] / отв. за вып. Е.И. Костоглодова. – Электрон дан. (463 МБ) – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – Секция «Электроэнергетика, электротехнологии, электротехника и робототехника» – с. 13–17.

2. Кривенко Т. В., Богданов А. В. Расчет надежности солнечно-дизельной установки в изолированной энергосистеме // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018. – с. 24–28.


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И. В. Коваленко

Подпись

« 4 » июня 2018 г

АВТОРЕФЕРАТ

магистерской диссертации

Модель надежности солнечно-дизельной электростанции

тема

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

код и наименование направления

13.04.02.02 – Электроэнергетические системы, сети, линии электропередачи, их
режимы, устойчивость и надежность

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель



1.06.18

подпись, дата


доц., канд. техн. наук

должность, ученая степень

В. А. Тремясов

инициалы, фамилия

Выпускник

 30.05.2018

подпись, дата

А. В. Богданов

инициалы, фамилия

Красноярск 2018